

新世纪20年:中药炮制装备的时空演变

杨冰, 杨陆, 杨菊, 路官正, 封亮*, 贾晓斌*

(中国药科大学 中药学院, 江苏 南京 211198)

[摘要] 在“互联网+”、《中国制造2025》的大环境下,中药炮制装备迎来了良好的发展机遇,其发展水平得到了极大的提高。新世纪20年,炮制装备逐渐向高效、节能环保、集成化及自动化方向发展,且更加注重中药饮片炮制联动生产线装备的建立与应用。基于自动化控制技术、在线检测技术及物联网技术的中药炮制装备在线检测系统、中药炮制计算机信息化管理系统是中药饮片炮制装备的主流发展趋势。中药炮制装备的标准化是炮制工艺参数标准化的前提,炮制装备及炮制工艺参数标准化体系的建立是促进中药饮片现代化发展的关键。该文聚焦中药炮制装备,综述新世纪20年中药炮制装备的研究概况,并提出其未来发展趋势,以期对中药炮制装备的技术创新与发展提供参考。

[关键词] 中药炮制; 炮制装备; 中药饮片; 联动生产线; 发展趋势

Twenty years in the 21st century: temporal and spatial evolution of Chinese medicinal processing equipment

YANG Bing, YANG Lu, YANG Ju, LU Guan-zheng, FENG Liang*, JIA Xiao-bin*

(School of Traditional Chinese Pharmacy, China Pharmaceutical University, Nanjing 211198, China)

[Abstract] Against the backdrop of "Internet+" and *Made in China 2025*, Chinese medicinal processing equipment embraces various opportunities and develops to an unprecedented level. In the 20 years of the new century, the processing equipment has gradually developed in the direction of high efficiency, energy saving, environmental protection, integration, and automation, and this field has tended to highlight the establishment and application of the linkage production line for the processing of Chinese medicinal decoction pieces. Integrating automation control technology, online detection technique, and the internet of things technology, the online detection system of Chinese medicinal processing equipment and the computer information management system of Chinese medicinal processing are the mainstream development trends of Chinese medicinal processing equipment. Standard Chinese medicine processing equipment is the prerequisite for the standardization of processing parameters. A standard system for processing equipment and processing parameters is the key to the modernization of Chinese medicinal decoction pieces. This paper summarized the research and application of Chinese medicinal processing equipment in the 20 years of the 21st century and predicted the development trend, which is expected to serve as a reference for the technological innovation and development of the processing equipment.

[Key words] Chinese medicinal processing; processing equipment; Chinese medicinal pieces; linkage production line; development trend

DOI:10.19540/j.cnki.cjmm.20210813.601

炮制是中药饮片形成的关键环节,而炮制装备不仅是中药制药装备领域的一种独特装备,更是现代中药产业链中的

重要组成部分,在整个中药产业的发展中具有重要的支撑作用,其发展水平直接影响中药产业的发展。炮制装备是将中

[收稿日期] 2021-05-11

[基金项目] 国家重点研发计划项目(2018YFC1706900);国家自然科学基金项目(81573620);中国药科大学双一流建设创新团队项目(CPU2018GY11)

[通信作者] *封亮,博士,副教授,博士生导师,E-mail: wenmoxiushi@163.com; *贾晓斌,博士,教授,博士生导师,E-mail: jiaxiaobin2015@163.com

[作者简介] 杨冰,博士研究生,研究方向为中药炮制与特色制药技术的传承与创新,E-mail: 15751151582@163.com

药材加工为饮片的中药制药专用工具。由于中药炮制属于传统学科,原始的炮制多采用简单的手工生产方式,所使用的工具也较为简单,如药舂、研钵、研槽等。1949年以后中药炮制工具逐渐向机械装备发展,并逐步在净制、切制、炮炙及干燥等环节形成体系,初步形成了机械代替手工的炮制格局。20世纪70年代,我国分别在河南周口、上海、天津、吉林长春投资建立起4家中药饮片机械厂,标志着我国中药炮制装备逐渐步入专业化、规模化发展阶段。“十五”以来,中药饮片炮制生产装备的研发受到相关部门和机械自动化设计生产部门的关注,国家把炮制机械与中药饮片工艺规范化研究同等立项,从政策导向和研究经费上为炮制机械的研发提供支撑。本文聚焦中药炮制装备,系统综述新世纪20年中中药炮制装备的研究概况,并在此基础上提出中药炮制装备的未来发展趋势,以期中药炮制装备的技术创新与发展提供参考。

1 新世纪20年全国中药炮制装备整体态势分析

“十五”以来,中药炮制装备迎来了良好的发展时机,并在2006年郑州制药机械展销会上,第一次出现“饮片机械设备展馆”。另外,在国家一系列促进中医药事业发展政策的

支持下,涌现了一批中药炮制装备制造企业,为炮制装备的发展增添了新生力量。各中药炮制装备制造企业及炮制装备研发人员根据中药炮制的特点,将多学科进行联合,大力开展了炮制装备的相关研发工作,并增强了专利保护意识。从专利视角分析中药炮制装备的发展态势,发现自2001年,中药炮制装备的发展进入技术缓慢发展期,年度申请的炮制装备相关的专利数较2000年以前增长缓慢;自2012年,中药领域相关政策的发布,极大地激励了中药炮制装备研究人员的积极性,中药炮制装备的发展进入快速增长期,并于2017年炮制装备的专利申请数达到峰值1143件^[1]。顺应我国大力发展中医药的政策导向,中药饮片生产企业及炮制装备研发企业牢牢把握中药炮制装备发展良机,不断在中药炮制装备领域进行技术创新,将中药炮制装备向绿色化及自动化方向发展,在新世纪20年里切实提升了我国中药炮制装备水平。目前炮制装备已经基本摆脱传统中药饮片生产中“加工作坊”的老印象,初步建立了包含洗药机、筛药机、切药机、炒药机、煮药锅等在内的净制、切制及炮炙装备体系,并逐渐向建立符合饮片生产特点的中药饮片炮制装备生产线转变,向实现集成化及自动化方向发展^[2],见图1。

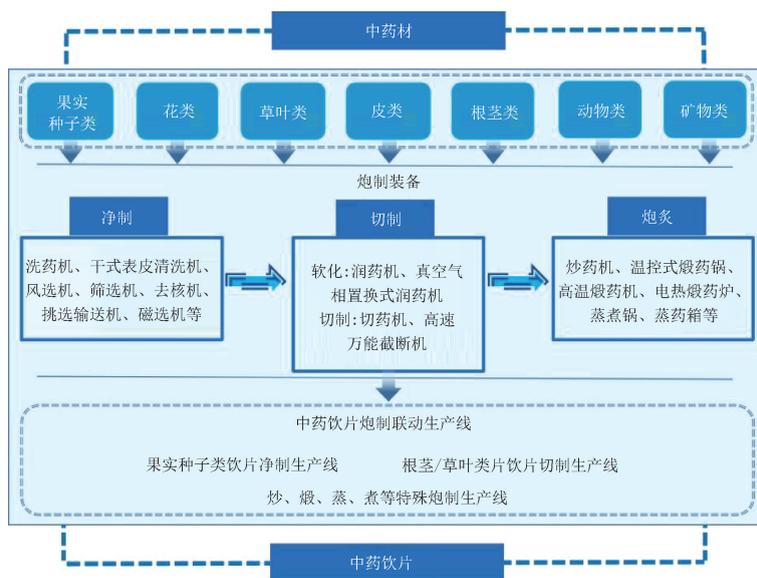


图1 中药炮制装备发展概况

Fig. 1 Development of Chinese medicinal processing equipment

2 中药炮制装备的时空演变

2.1 中药炮制装备简介 以中药饮片炮制工艺流程为主线,将中药炮制装备分为净制、切制和炮炙三大类。净制装备指去除中药材混杂的杂质、分离及清除非药用部位的装备,包括洗药机、清洗机、风选机、筛选机、磁选机、挑选输送机及去核机等。切制装备指根据炮炙及制剂需求将中药材切制成不同片、段、丝、块的装备,如往复式切药机、剃刀式切

药机、旋转式切药机及万能高速截断机等。部分中药材质地坚硬,在切制前需进行软化处理,故切制中往往会涉及润药机等软化装备,较常用的润药机为真空气相置换式润药机。炮炙装备是最具有中医药特色的制药装备,涉及炒、炙、煨、蒸、煮、炖、煨、制炭、制霜等工艺,常用的炮炙装备包括燃油式炒药机、电热式炒药机、燃气炒药机、高温煨药机、电热煨药炉、可倾式蒸煮锅、水汽两用蒸煮箱、蒸药箱等。

2.2 中药炮制装备的更新换代 中药化学成分复杂,且炮制中常会涉及酸、碱等化学物质,这就决定了炮制装备材质的特殊性,即炮制装备的材质必须具备耐腐蚀、不吸附药物、不与药物发生化学反应等特性。故中药炮制装备研究中首先对炮制装备的材质进行了改进和提高,将与中药材、中药饮片直接接触的炮制装备由铸铁换成了不锈钢。中药炮制装备的材质更替是炮制装备更新换代的第一步,目前市场销售的中药饮片装备已经基本采用不锈钢材质。在中药炮制装备开发过程中,除了材质上的改进,还逐渐注重环保、节能及自动化控制^[3],并在实现集成化、自动化方面取得了较为显著的成果。

洗药机、润药机、炒药机及煅药机等中药炮制装备在基本实现高效、节能、环保后,再次向集成化与自动化方向发展,见图 2。以炒制设备为例,炒药机根据热源及自动化程度,其更新换代大体可分为 2 个阶段。第一阶段为热源的变更,传统燃煤式炒药机的热源较单一,不仅火候不易控制、锅体保温性也较差,且炒制过程中易产生大量废气;而装备改造后形成的燃油式炒药机、电热式炒药机及燃气式炒药机以燃油、电热、燃气 3 种较为清洁的热源取代燃煤,使装备逐渐具备高效、节能、环保等特点。第二阶段为自动化程度的提升,改造形成的自动控温燃油炒药机、自动控温燃气炒药机及自动控温电热炒药机,见图 3,不仅可实现快速升温,而且由于锅体内部安装了温度感测器,可进行锅内温度的实时、连续、非接触式测量,初步实现数字化监控与管理。



图 2 中药炮制装备的更新换代
Fig. 2 Change of Chinese medicinal processing equipment

2.3 中药饮片干燥装备特点各异、优势突出 干燥是中药饮片生产过程中不可缺少的重要工序之一^[4],其目的是使中药饮片在水中降低至规定含量,以延长贮存时间。目前以热风干燥为干燥方式的热风炉翻板式烘干机、热风循环烘干箱、厢式干燥机、带式干燥机、隧道式干燥机等干燥装备已经在众多饮片厂广泛应用。随着干燥技术的现代化,除热风干燥技术外,红外干燥、微波干燥、真空冷冻干燥、高压电场干



图 3 自动控温燃油(燃气、电热)炒药机
Fig. 3 Automatic temperature control fuel oil (gas, electric) stir-frying machine

燥、气体射流冲击干燥、真空脉动干燥法等技术也在中药饮片的干燥过程中逐步得到了应用^[5],形成远红外辐射干燥机、微波干燥机、真空冷冻干燥机、高压电场干燥机及气体射流冲击干燥机等干燥装备。各种类型的干燥装备特点各异,适用范围也不同,可基本满足不同类型中药饮片干燥的需求,见表 1。

表 1 中药饮片干燥装备汇总表
Table 1 Drying equipment for Chinese medicinal decoction pieces

干燥装备	特点及适用范围	文献
烘干箱	以蒸汽、燃油或燃气为热源,热风炉为螺旋结构,避免燃烧烟气污染;敞开式结构,进出物料方便;具有风干功能,干燥速度快,易清洗残留物料;适合小批量饮片干燥	[6]
真空带式干燥机	可独立控制干燥介质数量、温度、湿度及尾气循环量等参数;操作灵活,湿物料进料;干燥过程完全密封,避免粉尘外泄;占地面积大、噪音较大;适用于苛求色泽及湿度高的中药饮片	[7]
远红外线辐射干燥机	电能转变为远红外线辐射能;干燥速度快、杀菌、杀虫及灭卵能力强;节约能源、造价低、便于自动化生产;厚度超过 10 mm 时干燥效果不佳;适合于含水量大、有效成分对热不稳定、易腐烂变质或贵重中药饮片	[8]
微波干燥机	热穿透力强、干燥速度快、加热均匀、热效率高;产品质量好、保持原有色、香、味;适用于贵重、含挥发性物质及芳香性成分的中药饮片	[9-10]
真空冷冻干燥机	对化学成分最大保留;保持良好的外观形状、色泽、气味等;运行成本高、干燥时间长、处理量有限;适用于贵重及含极易氧化、高热敏性、挥发性成分的中药饮片	[11]
高压电场干燥机	具有常温干燥特性、干燥过程中伴有杀菌作用;装备造价低、节约能耗;适用于多种类型、多种类型的中药饮片	[12]
气体射流冲击干燥机	具有较高的对流换热系数和干燥速度;干燥脱水的速度快、生产效率高、热敏性成分损失小;干后物料水分均匀一致;适用于干燥不同形状的中药饮片	[13]

纵观近 20 年中药饮片干燥装备的发展,除了在干燥技术方面进行改进外,逐渐向提高干燥效率、节能环保、自动化方向转变^[14]。在干燥装备设计中将实现装备自动化作为干燥装备设计与改进的重点,通过增加自动进出料系统、集成过滤及洗涤环节、整合电控及远程控制系统等逐渐提高干燥效率及装备的自动化程度。此外,耦合多种干燥装备的联合干燥策略成为研究热点,目前发展并应用的联用干燥策略有微波-真空冷冻干燥、微波-热风干燥法、微波-远红外干燥法等。研究结果提示联合干燥不仅可以提高干燥效率、降低干燥成本,而且能达到保持中药外观、提升内在质量的干燥要求^[15]。

3 中药饮片炮制联动线装备

随着中药炮制装备的不断更新换代,近年来中药饮片生产企业逐渐开始集成融合装备制造技术、自动化控制技术等各类中药炮制装备优化组合研制中药炮制联动线装备^[16]。净制、切制、干燥联动装备样机将净制装备、切制装备与干燥装备组合,不仅改变了传统人工物料转运及单击操作模式,而且可初步实现中药饮片的净制、切制及干燥全过程的流水线生产,从而提高中药炮制效率,见图 4。

在炮制联动线净制机组中,中药材在上料机的输送下经清洗、风选、筛选、磁选除去毛发、泥沙等杂物后,被输送并自动均匀地分布于挑选机上进行人工挑选,以去除假劣药材及



图 4 净制、切制、干燥联动装备样机

Fig. 4 Prototype of cleaning, cutting, and drying linkage equipment

杂物,提高净制质量,见图 5。该净制机组可极大地减轻劳动强度,提高净制效率,广泛适用于根茎类、果实类、种子类等来源的中药材。经过净制但仍需切制的中药材,如根茎类、草叶类、部分果实种子类等,将被输送至切制机组,经润药机润制软化后,根据所需的饮片规格选用不同的切药机进行切片、切段等。切制后若需炮制则进入炮炙机组,炮炙机组包含经炒制、煨制、蒸炖等现代化炮制机械装备,可满足需炒制、煨制、蒸制、煮制等炮炙处理的药材。干燥是中药炮制过程中不可或缺的一环,贯穿中药炮制的各个阶段,中药饮片干燥机组可解决不同类型及不同特性中药饮片的干燥问题,同时几种不同干燥装备的联合应用也为提高中药干燥效率、降低干燥成本、改善中药外观及提升中药质量提供了有效的途径。

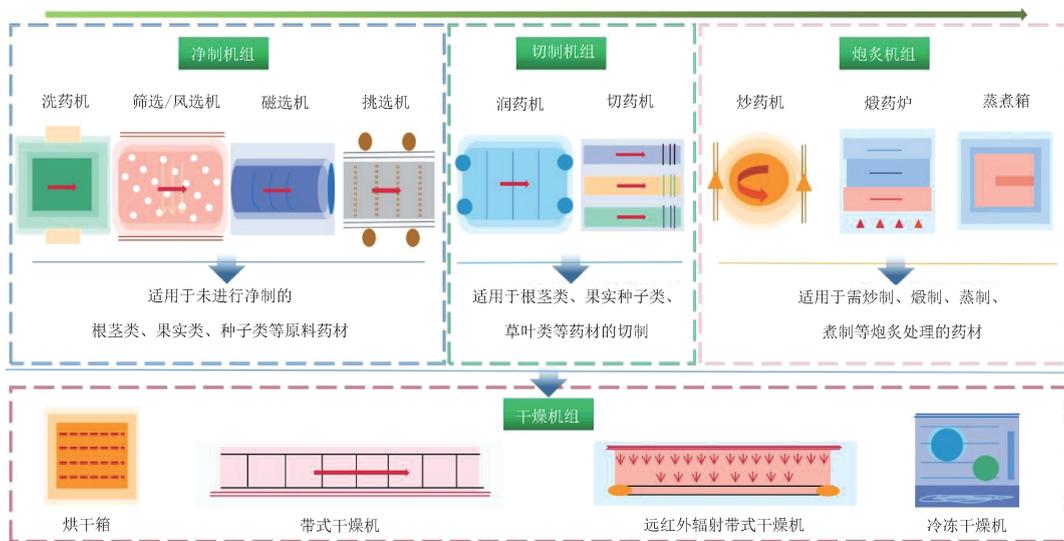


图 5 中药饮片炮制联动线装备示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the linkage line equipment for the processing of Chinese medicinal pieces

4 不同类型中药饮片生产线

为进一步提升中药炮制效率、降低炮制成本,部分中药饮片生产企业已经逐步根据药材来源及炮制需求分别建立种子类饮片净制生产线、全草及皮叶类饮片切制生产线、根及根茎类饮片炮制生产线等,见图 6。各类生产线以特定的

炮制装备构成,专注于解决某一类或几类中药饮片在炮制过程中的关键问题。种子类中药在炮制中以净制为主,主要考虑去除灰尘、泥土、皮屑、壳及不饱满的瘪子等,故种子类饮片净制生产线主要由风选机、筛选机、挑选机、磁选机、去核机等净制装备构成,辅以干燥机干燥药物,并配合输送机实

现种子类药物过程传输。全草类、皮类、叶片类药物关键的炮制环节是切制和干燥,故全草类、皮叶类饮片切制生产线除净制装备风选机、筛选机、挑选机、磁选机、洗药机外,还应包含切药机、带式干燥机切制及干燥装备,并配合输送机实现全草类、皮叶类药物的过程传输。

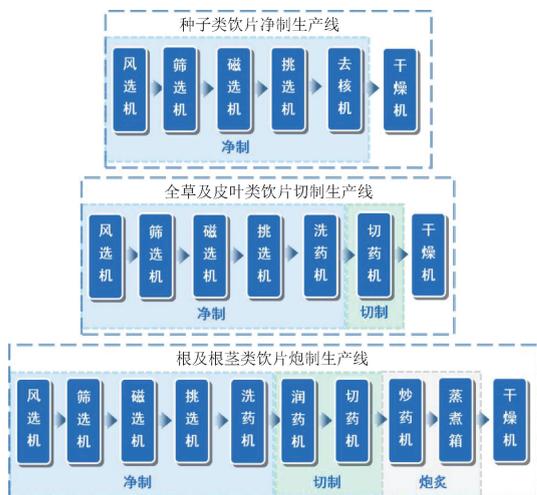


图 6 不同类型中药饮片生产线

Fig. 6 Production lines for different types of Chinese medicinal pieces

根类及长条状根茎类中药是炮制生产中比例最大、品种最多且炮制较复杂的几类中药,切制几乎是每味根类及长条状根茎类药物必需的炮制过程。然而,由于其质地较为坚硬,常规软化时间较长易造成有效成分流失,为减少有效成分流失、提升根及根茎类药物质量,采用真空润药机对其进行软化处理,运用气体的强力穿透性让水蒸汽置换药材内的空气,使药材快速、均匀软化。另外,炒制、蒸煮是根及根茎类中药常用的炮炙方式,因而根及根茎类饮片炮制生产线包括风选机、筛选机、挑选机、磁选机、洗药机等净制装备,真空润药机、切药机等切制装备,炒药机、蒸煮箱等炮炙装备,及干燥机及输送机等装备。

5 中药饮片炮制装备发展趋势

5.1 中药炮制装备的自动化升级 中药炮制装备对中药饮片的现代化发展具有重要作用,虽然中药炮制装备不断进行技术集成创新,并逐步向自动化方向发展,但目前中药炮制装备的自动化水平依然有限,亟待进一步开展中药炮制装备的自动化升级^[17]。近年来,互联网技术、物联网技术、传感器技术等高新技术不断发展,为中药炮制装备的自动化升级奠定了坚实的基础。针对中药炮制装备自动化水平低、设备功能单一、缺乏现代信息技术和控制技术及过程监控等局限性,互联网、物联网、大数据以及计算机技术的集成与协同应用不仅有助于推进中药炮制装备改进,拔高中药炮制装备整体水平,还可促进其信息化、自动化升级。另外,在中药炮制

装备自动化升级中需密切结合中药自身特点,避免先进技术的“嫁接”。

5.2 中药炮制装备在线检测系统 中药炮制装备在线检测系统可将炮制经验数字化表达,利于产业化条件下的炮制工艺参数研究。在传统中药炮制过程中,中药炮制程度及炮制终点的判断主要根据气味、颜色及性状,而气味、颜色及性状的描述较为主观、模糊,缺少客观依据,不利于饮片的质量控制^[18]。随着现代科学技术的进步,智能感官技术,如电子鼻^[19]、电子舌^[20]、机器视觉技术^[21]、质构仪^[22-23]等可模拟人的感官实现数字化表达。非接触红外测温技术可实现动态连续非接触式温度测量,监测炮制过程中的温度参数。结合智能感官技术及在线监测技术的中药炮制装备在线检测系统,可将炮制经验进行数字化表达,实现中药炮制经验的客观化,是规范炮制工艺参数的可行途径之一。

炮制装备在线检测系统的成功建立有利于解决中药饮片企业实施 GMP 生产中的难题,并能满足规范化、规模化、现代化的产业需求,是中药饮片标准化及现代化的标志。近红外光谱技术具有操作简便、分析快速、样品无损、多组分多通道同时测定等特点^[24],在中药饮片规范化生产和过程控制中发挥了重要作用。在现阶段我国在线检测技术相对缺乏,中药炮制中仍采用在线光谱技术与离线色谱技术相结合的质量检测模式,但是以化学计量学为基础,研发自动化在线检测技术,建立中药炮制装备的在线检测系统依旧是中药炮制产业化发展大趋势^[25]。

5.3 中药饮片炮制计算机信息化管理系统 中药饮片炮制计算机信息化管理系统由计算机总服务器、炮制装备、智能控制器、显示屏、管理软件等组成^[26]。该系统将自动化技术、传感器技术及射频识别技术相结合,集成设计出自动化可控模块,可在线控制炮制工艺参数,监控炮制工艺流程,并最终实现中药炮制任务无纸化、炮制过程规范化、生产记录客观化、生产过程可视化。中药饮片炮制任务、炮制流程及工艺参数经计算机操作界面录入后,系统自动下达任务单,并根据录入的炮制流程及工艺参数指令炮制装备执行相应操作,见图 7。在线控制器及显示屏追踪记录炮制过程及动态工艺参数变化,并通过计算机实现数据采集。视频监控并记录整个炮制环节,若出现错误指令及操作则发送报错示警。另外,计算机可根据任务执行中的各种物耗、工时进行成本核算。在当今计算机信息化时代,中药饮片炮制计算机信息化管理系统可有效的监测、管理及控制中药饮片生产过程,促进中药饮片的标准化。

5.4 炮制装备及炮制工艺参数标准化体系 炮制装备及炮制工艺参数标准化体系的建立是实现中药炮制装备现代化及中药饮片规范化的重要标志之一^[27]。随着中药炮制装备的广泛应用,中药饮片逐步实现了规模化生产,但由于中药炮制装备标准的缺乏,各企业装备生产过程中各行其道、自成体系,装备的规格差异较大,致使中药饮片行业尚未建立

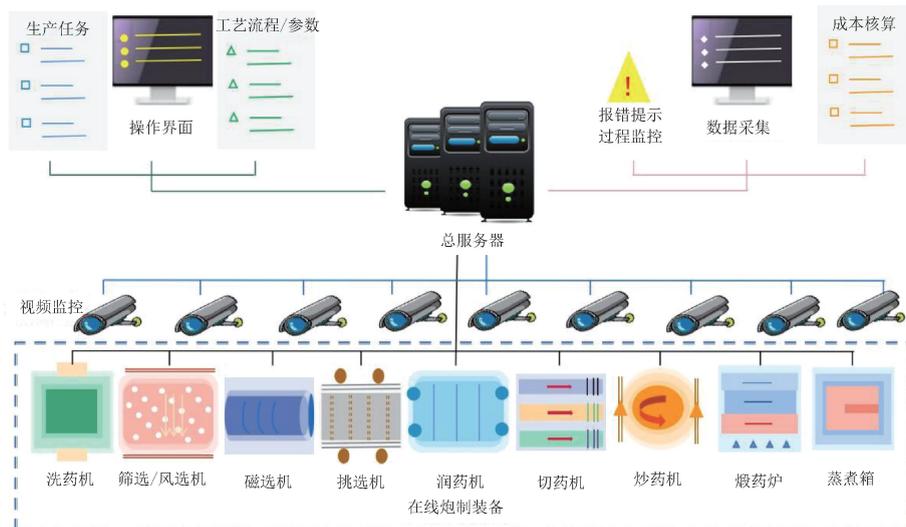


图7 中药饮片炮制计算机信息化管理系统示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the computer information management system for the processing of Chinese medicinal pieces

统一的炮制工艺参数,饮片质量难以保证。制定炮制装备材质、容积、热源、温度测量方式以及文火、中火、武火温度范围等技术标准,规范不同规格的炮制装备,明确其适用范围并统一其性能,建立中药炮制装备的标准化体系是炮制工艺参数标准化的前提,也是中药炮制装备发展趋势。

中药涉及根、茎、叶、花、草、皮等,形状、大小、质地等差异较大,对炮制工艺参数的要求不同。虽中药炮制工艺参数研究已经发表了大量的研究成果,但实验室小试与产业化应用存在加大的差异,大量的炮制工艺参数研究仅局限于实验室阶段,缺乏产业化条件下的炮制工艺参数研究^[28]。在中药炮制装备的标准化的基础上,借助中药炮制在线检测系统将《中国药典》中关于“文火”“中火”“武火”等模糊参数进行数字化表达,如锅温 120、150、180 ℃;将炒至“表面绿褐色或暗棕色,偶见焦斑”等主观参数转化为炒锅于 20 r·min⁻¹翻炒 10 min 等客观参数,实现中药炮制工艺参数标准化的关键。

6 总结与展望

新世纪 20 年,中药炮制装备迅速发展,已经摆脱了传统人工炮制的落后现象,极大地提高了炮制效率。随着中药炮制设备的更新换代,目前炮制装备逐渐向高效、节能环保、集成化及自动化方向发展,且中药炮制装备在线检测系统、中药饮片炮制计算机信息化管理系统也已经成为中药炮制装备的主流发展趋势。中药产业化已成为我国经济发展的战略性发展计划,而要实现中药产业化,必须科学合理地应用现代炮制装备,建立与国际接轨并符合中国国情的中药炮制装备体系。目前中药饮片炮制装备的研发多集中于净制装备及切制装备,而最具中医药特色的炮炙装备的研发及创新则相对较少,故建议在中药炮制装备研发中,除兼顾净制及切制装备的创新优势外,还应加大炮炙装备的研发力度,加快炮炙装备的进一步改革升级^[29]。

在信息技术主导的“中药工业 4.0”时代背景下,如何实现中药产业的转型升级成为整个行业研究的热点,而中药溯源体系建设为提升中药质量及保障临床用的药安全性及有效性提供了有效手段,且已经提升到国家战略高度。中药溯源系统旨在对“种植、加工、流通和使用”四大环节进行全过程追踪和监管,以达到中药材来源可查、去向可追、责任可究的目的^[30],但作为一个庞大的体系,中药溯源系统各个子系统之间相对独立,如何做好各子系统的接口衔接是当前系统建设的首要问题。中药炮制装备在线检测系统及中药饮片炮制计算机信息化管理系统以其强大的信息采集、传递及储存能力,可将饮片生产过程关键信息进行采集,并上传至数据库服务器进行储存,同时数据服务器也可用于接收赋码和分发溯源码信息。中药炮制装备的自动化、信息化技术的应用可巧妙地解决各子系统的衔接问题,完美配合饮片的生产、销售、使用全过程中的信息溯源,促进中药“从农田到消费者”的全产业链质量保证体系及溯源体系的建立。

[参考文献]

- [1] 曾洁,施晴,臧振中,等. 基于全球专利分析的中药制药装备产业技术发展趋势研究[J]. 中草药, 2020, 51(17): 4373.
- [2] 贾天柱. 论中药炮制的“四新八化”[J]. 药学研究, 2019, 38(7): 399.
- [3] 秦昆明,李伟东,张金莲,等. 中药制药装备产业现状与发展战略研究[J]. 世界科学技术(中医药现代化), 2019, 21(12): 2671.
- [4] 潘永康,王喜忠,刘相东. 现代干燥技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.
- [5] YUE P F, WAN J, WANG Y, et al. D-Alpha-tocopherol acid polyethylene glycol 1 000 succinate, an effective stabilizer during solidification transformation of baicalin nanosuspensions [J]. Int J Pharm, 2013, 443(1/2): 279.

- [6] 杨锐. 恒温烘干机设备的研发与应用[D]. 大庆: 东北石油大学, 2012.
- [7] 赵丽娟, 李建国, 潘永康. 真空带式干燥机的应用及研究进展[J]. 化学工程, 2012, 40(3):25.
- [8] 刘云宏, 朱文学, 马海乐. 金银花真空远红外辐射干燥动力学模型[J]. 农业机械学报, 2010, 41(5): 105.
- [9] 张薇, 王泽槐, 许静芬. 淮山药微波干燥过程温度水分的特征变化研究[J]. 中药材, 2005, 28(9): 760.
- [10] 杨秀伟, 韩美华, 陶海燕. 微波加工和蒸制杭白菊挥发油成分的 GC-MS 分析[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(3):227.
- [11] 钱骅, 赵伯涛, 张卫明, 等. 人参冻干及对皂苷含量的影响[J]. 中成药, 2007, 29(2):238.
- [12] 丁昌江, 梁运章. 高压电场干燥技术在中药材干燥中的应用[J]. 北京理工大学学报, 2005, 25(Suppl):126.
- [13] 肖红伟, 高振江, 白竣文, 等. 一种西洋参的快速干燥加工方法: CN 102488732B[P]. 2013-05-01.
- [14] 詹娟娟, 伍振峰, 王雅琪, 等. 中药材及制剂干燥工艺与装备现状及问题分析[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(23):4715.
- [15] 隋颖. 人参切片微波-远红外组合干燥试验研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [16] 秦昆明, 蔡皓, 李伟东, 等. 优质中药饮片质量控制体系的构建与产业化应用示范研究[J]. 世界科学技术(中医药现代化), 2018, 20(3):383.
- [17] 杨明, 伍振峰, 王雅琪, 等. 中药制药装备技术升级的政策、现状与途径分析[J]. 中草药, 2013, 44(3):247.
- [18] 刘燎原, 干丽, 曾昭君, 等. 栀子炮制工艺优选及质量标准研究[J]. 中药材, 2019, 42(7):74.
- [19] FEI C, REN C, WANG Y, et al. Identification of the raw and processed *Crataegi Fructus* based on the electronic nose coupled with chemometric methods [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1):1849.
- [20] ZHANG X, WU H, YU X, et al. Determination of bitterness of *andrographis herba* based on electronic tongue technology and discovery of the key compounds of bitter substances [J]. *Molecules*, 2018, 23(12):3362.
- [21] ZHAO J, YU X, ZHOU K, et al. Wide-gamut and polarization-independent structural color at optical sub-diffraction-limit spatial resolution based on uncoupled LSPPs [J]. *Nanoscale Res Lett*, 2019, 14(1):214.
- [22] 彭诗涛, 张先灵, 袁金凤, 等. 基于张仲景学术思想的炮附子 4 种炮制方法的比较研究[J]. 世界科学技术(中医药现代化), 2018, 20(5):716.
- [23] 畅柯飞. 不同加工方式对鹿茸制品物理化学特性的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2017.
- [24] DE BRUYNE S, VAN DORPE J, HIMPE J, et al. Detection and characterization of a biochemical signature associated with diabetic nephropathy using near-infrared spectroscopy on tissue sections [J]. *J Clin Med*, 2019, 8(7):1022.
- [25] 王学成, 王雅琪, 李远辉, 等. 水分在线检测技术及其在中药干燥领域应用展望[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(1):41.
- [26] 周明. 基于人工智能及大数据技术对中药饮片生产质量管控的研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2018.
- [27] 张世臣, 孙裕, 戴俊东, 等. 基于全程质量控制理念的工业饮片标准化体系建设研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(14):2837.
- [28] 秦昆明, 曹岗, 金俊杰, 等. 中药饮片炮制工艺现代研究中存在的问题与对策[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(18):3795.
- [29] 任洪民, 邓亚羚, 张金莲, 等. 药用黄精炮制的历史沿革, 化学成分及药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(17):153.
- [30] 施明毅, 刘崇玉, 温川飙, 等. 基于区块链与 NB-IOT 物联网的中药材流通质量追溯系统的设计与研发[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(17):4267.

[责任编辑 丁广治]